

УДК 621.01

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ПРОСТРАНСТВЕ МЕХАНОСБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Эдуард Валерьевич Харитонов

Студент 6 курса,

кафедра «Технологии машиностроения»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Г.Н. Мельников,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Машиностроение – главная отрасль народного хозяйства, определяющая возможность и рамки развития других отраслей. Большая часть предприятий машиностроительного комплекса относится к серийному типу производства. При этом ряд организаций были вынуждены сократить объемы выпуска и перешли из массового и крупносерийного в среднесерийное, сохраняя по сей день потребность в коренной реконструкции производства.

В машиностроительной отрасли ведущих стран в связи с широким распространением международной и внутриотраслевой специализации стала не редкой ситуация, при которой более 70 % комплектующих приходят на сборку по кооперации с других специализированных предприятий. При этом предприятия-поставщики относятся, как правило, к серийному типу производства. На предметно- и подетально-специализированных заводах-поставщиках при выполнении нового заказа технологическое оборудование может переставляться (расходы на эту процедуру низки при бесфундаментной установке оборудования), а разбивка изделий на группы, обеспечивающая поточность производства, – корректироваться.

Технологическое оборудование представляется в следующих целях. Пространственная компонента структуры технологической системы, задаваемая расположением станков, и отражающая группирование изделий, определяет характеристики материальных потоков. С организацией последних связано от 10% до 60% затрат на изготовление конечного изделия. Очевидно, что для снижения общей суммы затрат необходимо улучшать структуру производства, в том числе перемещением оборудования и перегруппированием изделий, иными словами, организовывать технологически-ориентированные структуры оборудования. При этом объективно существует потребность в разработке и совершенствовании научно-методических основ подобного рода реструктуризации.

Таким образом, вопросы, затрагивающие структуру технологических систем серийного производства в машиностроении, ее анализ и синтез, возможности ее совершенствования, представляют большой научный интерес. Поэтому можно сформулировать цель исследований.

Цель: Повышение эффективности проектных решений при технологической подготовке производства, разработке проектов технологического перевооружения, а также при проектировании новых цехов серийного производства.

Объект исследования: Структура и компоновочно-планировочные решения технологических систем серийного производства.

Предмет исследования: Процесс синтеза функционально-пространственной структуры механообрабатывающих цехов серийного производства.

На основе поставленной цели можем выявить задачи исследования:

1. Анализ основных подходов при формировании компоновочных и планировочных решений серийного производства;
2. Анализ существующих методик синтеза и моделей технологической системы производства и их недостатки;
3. Анализ метода функционального и пространственного структурирования технологической системы производства на основе анализа взаимосвязей оборудования.

Современное механосборочное производство представляет собой сложную динамическую систему. Процесс его проектирования, согласно [2], включает в себя четыре последовательно выполняемых этапа: структурно-функциональный, алгоритмический, параметрический и планировочный. В случае масштабности проектной задачи процесс синтеза окончательного результата может включать в себя несколько циклов с различной детализацией данных и уровнем принимаемых решений, каждый из которых будет содержать в себе все указанные этапы. Например, в случае проектирования цеха, таких цикла – два: результатом первого служит компоновка цеха, второго – планировки участков.

Суть структурно-функционального этапа заключается в синтезе структурной модели, которая отражает состав, тип и взаимосвязь элементов, и функциональной модели, учитывающей свойства элементов и системы, необходимые для выполнения ими своего служебного назначения. При проектировании технологической системы производственного подразделения на этом этапе выполняется: формирование совокупности технологических процессов, закладываемых в основу процесса проектирования, определение технологического оборудования, выбор состава участков, выбор состава и количества станков по участкам и т.д.

Алгоритмический этап проектирования включает в себя составление алгоритмической модели, содержащей взаимные связи между элементами и системами в процессе производства. На данном этапе проектирования выполняется выбор дисциплины обслуживания заготовок, составление расписаний для подтверждения достаточности рассчитанного количества оборудования (при необходимости).

На параметрическом этапе проектирования производится определение количественных значений взаимосвязей между отдельными физическими параметрами элементов системы. Параметрические модели представляют собой уравнения материально-энергетического баланса в различных проявлениях. На данном этапе рассчитываются характеристики потоков: материальных, энергетических, информационных. На основе этих расчётов определяется состав и количество вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, накладываются требования на инфраструктуру производства.

На окончательном, планировочном этапе решается задача размерных связей между отдельными элементами системы. Результатом этапа служит планировочное решение участков.

Следует отметить, что каждый этап синтеза технологической системы производства можно разделить на множество подэтапов, обладающих собственными ограничениями. Вследствие этого сам процесс проектирования можно осуществить двумя принципиально различными путями:

а) с введением в процесс обратных связей, позволяющих вернуться на предыдущий этап в случае непрохождения ограничений;

б) с разбиением этапов на множество проектных задач, выстраиваемых затем по порядку, уменьшающему или исключаящему необходимость возврата.

У рассматриваемых технологических систем серийного производства существует ряд особенностей, не присущих единичному и массовому производству.

Речь идёт о необходимости структуризации совокупности технологических процессов изготовления изделий, входящих в программу выпуска. Структуризация такого рода позволяет повысить организационный уровень прочих составляющих технологической системы и понизить время, связанное с переходами от изготовления одного вида изделия к изготовлению другого.

Процесс структуризации совокупности технологических процессов называется унификацией. В ходе унификации осуществляется переход от множества единичных ТП к меньшему множеству унифицированных ТП.

Работы по унификации технологических процессов получили развитие в рамках трёх методов (представлены в хронологической последовательности):

1. Метод типизации технологических процессов, разработанный и научно обоснованный доктором техн. наук А.П. Соколовским в 1930 г. [3];
2. Метод групповой обработки деталей, разработанный и научно обоснованный доктором техн. наук С.П. Митрофановым [3];
3. Метод обработки деталей с применением модульной технологии, разработанный доктором техн. наук Б.М. Базровым [4].

Для эффективного использования унифицированных технологических процессов в производствах серийного типа в соответствующие проектные решения должны быть заложены необходимые производственные условия. Такие условия в большой мере определяются правильно выбранной формой специализации производства.

В машиностроении четко определились три формы специализации предприятий и производственных подразделений [2]:

1. Технологическая, при которой в подразделении сосредотачивается изготовление изделий или заготовок, имеющих специфическую общность выполняемых технологических процессов или операций.
2. Предметная, при которой в подразделении сосредотачивается изготовление и сборка изделий или сборочных единиц, имеющих признаки конструктивно-технологической общности.
3. Поддетальная, при которой в подразделении изготавливаются детали, имеющие, как правило, признаки конструктивно-технологической или только технологической общности.

Следует отметить, что если ранжировать технологическую, предметную и поддетальную формы специализации интегрально по технико-экономическим критериям (производительности труда, использованию оборудования, связыванию оборотных средств и приведённых затрат на годовой выпуск), то их соотношение составит 1:1,5:1,9 [2].

Таким образом, при проектировании машиностроительных предприятий серийного типа производства следует в первую очередь отдать предпочтение поддетальной форме специализации участков.

Как указывалось ранее, все методики проектирования технологических систем серийного производства, представляющие интерес, в качестве исходных данных используют унифицированные ТП. Из рассмотренных в разделе 2.1 трёх методов наиболее применимым является метод групповой обработки деталей с применением групповой технологии. Большой интерес также представляет использование модульной технологии, но, к сожалению, в настоящее время методическая основа проектирования производства на её основе недостаточно проработана.

Наиболее распространённые методики синтеза технологических систем производственных подразделений, опирающиеся на групповую технологию,

используют классификацию и кодирование деталей (изделий) [2, 3]. Рассмотрим общее содержание таких методик.

В первую очередь для каждой детали формируется информационная структура, содержащая информацию (состав определяется технологом) по конструктивным и эксплуатационным характеристикам детали, по технологическому процессу её изготовления. Эта информация может быть закодирована на основе таблиц кодов (например [2]) и представлена в виде строки. В настоящее время в связи с развитостью вычислительной техники и программного обеспечения этап кодирования может не производиться. После классификации выполняется группирование деталей (для каждой методики свой механизм группирования) производится разработка унифицированных технологических процессов, расчёт на их основе станкоёмкостей групп, определение количества и состава оборудования по участкам. При необходимости (если расчётная загруженность оборудования получается низкой) возможен возврат на этап группирования деталей.

В настоящее время среди методик синтеза технологических систем производства, использующих классификацию и кодирование деталей, наиболее развиты три подхода:

- а) на основе ранжирования критериев;
- б) на основе комплексного аддитивного критерия;
- в) на основе использования нейронных сетей.

Рассмотрим их поподробнее на примере трёх методик.

Методика синтеза технологических систем производства, на основе классификации и кодирования деталей с использованием ранжирования критериев.

В качестве моделей методика [3] использует табличное представление данных и аналитические зависимости. Алгоритм её применения следующий:

1. Первичная классификация совокупности n наименований деталей D и их предварительное группирование.

Выбор значимых признаков (характеристик), по которым будет производиться группирование. Т.е. каждая деталь d_i в виде комплекса k признаков:

$$d_i = \{P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_k\}_i.$$

Каждый признак представляется двумя частями: $P_{ji} = \{X_j, x_{ji}\}$, здесь X_j – наименование признака, x_{ji} – его значение.

Расстановка признаков (характеристик) в порядке убывания весомости, или определение подчинённости (выполняется экспертами-технологами). А так же формирование структуры классификационного шифра вида: $K = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$, в котором признаки выстроены в порядке подчинённости.

Создание правил кодирования $F = \{F_1, F_2, \dots, F_k\}$ для каждого признака (характеристики), переводящих множество деталей D в множество кодов Q : $Q = F(D)$. Определение значений признаков (характеристик) и кодирование каждой детали. Т.е. для любой детали $Q_i = \{q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_k\}_i$.

Сортировка списка кодов деталей по возрастанию (либо по значениям характеристик, если кодирование не применяется). $Q \rightarrow Q'$, так что $\forall q \in Q', \forall i = \overline{1, n-1}, \forall j = \overline{1, k} : q_{ji} \leq q_{j(i+1)}$. Анализ и разделение списка кодов деталей Q' , а затем множества деталей D на l групп по признаку X_f (преимущественно конструктивному, определяется экспертом).

$$Q' \rightarrow Y, Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_a, \dots, Y_l\}, Y_a \subseteq Q', \forall Q_i \subset Y_a : \overline{B_i, B_{i+1}},$$

где B_i, B_{i+1} – граничные значения кода признака X_f (определяются экспертом).

$$Y: D \rightarrow G$$

В цикле:

1.1 Техничко-экономическая оценка эффективности решения по значению среднего коэффициента загрузки K_z оборудования и прироста экономической эффективности ΔC .

$$\Delta C = \Delta C_{шт} + \Delta C_u + \Delta C_m,$$

где $\Delta C_{шт}$ – изменения в себестоимости обработки деталей вследствие изменения штучного времени, руб.;

ΔC_u – изменения в себестоимости наладки станка в результате изменения $t_{н.з.}$, руб.;

ΔC_m – изменения в затратах на технологическую подготовку производства, отнесённое к плановому периоду вследствие изменения трудоёмкости проектирования, разработки ТП и изготовления оснастки, руб.

1.2. Корректировка групп выбором других значений B или другой характеристики X_f .

1.3. Переработка унифицированных технологических процессов.

К недостаткам данного подхода относятся:

- низкая эффективность системы кодирования вследствие её высокой субъективности;
- высокая трудоёмкость, поскольку проверка загруженности оборудования производится после разработки унифицированных технологических процессов;
- принцип ранжирования критериев в приложении к группированию деталей неадекватен, поскольку различные признаки (характеристики) могут быть сравнимы по влиянию на схожесть деталей, и могут оказывать различное влияние для двух разных пар деталей;
- неприменимость для проектирования мелкосерийного производства вследствие яркого проявления ранее указанных недостатков;
- невозможность расчёта приростов экономической эффективности при проектировании нового производства вследствие отсутствия исходных данных.

Методика синтеза технологических систем производства, на основе классификации и кодирования деталей с использованием комплексного аддитивного критерия.

В качестве моделей данная методика [2], как и предыдущая, использует табличное представление данных и ряд аналитических зависимостей. В качестве исходных данных кроме конструктивных и технологических характеристик каждой детали используется также маршрутный технологический процесс её изготовления с указанием суммарного штучно-калькуляционного времени. Выбор того или иного технологического процесса находится в компетенции эксперта.

Алгоритм использования методики следующий:

1. Выбор k значимых признаков (характеристик), по которым будет производиться группирование. Каждая деталь $d_i \in D$ представляется в виде комплекса k признаков: $d_i = \{P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_k\}_i$.

Каждый признак представляется двумя частями: $P_{ji} = \{X_j, x_{ji}\}$, здесь X_j – наименование признака, x_{ji} – его значение. В состав признаков должны входить: конструктивная сложность, состав оборудования, используемого для изготовления детали.

2. Расстановка признаков (характеристик) в порядке убывания весомости, или определение подчинённости (выполняется экспертами-технологами). А так же формирование структуры классификационного шифра вида: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$, в котором признаки выстроены в порядке подчинённости.

3. Создание правил кодирования $F = \{F_1, F_2, \dots, F_k\}$ для каждого признака (характеристики), переводящих множество деталей D во множество кодов Q .

4. Определение значений признаков (характеристик) и кодирование каждой детали. Т.е. для любой детали $Q_i = \{q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_k\}_i$.

5. Сортировка списка деталей по возрастанию кодов (либо по значениям характеристик, если кодирование не применяется). $Q \rightarrow Q'$, так что

$$\forall q \in Q', \forall i = \overline{1, n-1}, \forall j = \overline{1, k} : q_{ji} \leq q_{j(i+1)}$$

$Q \rightarrow D'$

В силу ограниченности количества признаков классификации на данном этапе возможно слияние различных деталей с одинаковым значением полных кодов в небольшие группы.

6. Объединение деталей в группы (выполняется несколько вариантов).

Выбор детали d_6 в качестве базовой по критериям максимума конструктивной сложности и максимума количества наименований оборудования, используемого для изготовления детали.

Расчёт меры близости z для каждой детали с базовой на основе кодов. Формирование множества Z :

$$\forall d_i \in D' : z_i = 1 / (1 + \alpha \cdot R^2(d_6, d_i)),$$

где α – коэффициент пропорциональности, $R(d_6, d_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^k (q_{ji} - q_{j6})^2}$ – функция расчета расстояния в евклидовом пространстве признаков (рис. 1).

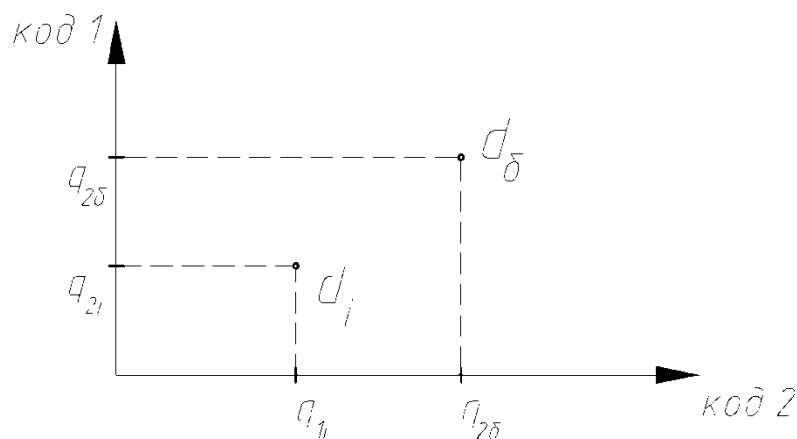


Рис. 1. Частное представление деталей d_6 и d_i в евклидовом пространстве признаков

Ранжирование деталей по убыванию меры близости. $Z \rightarrow Z'$, так что $\forall z \in Z', \forall i = \overline{1, n-1} : z_i \leq z_{i+1} \quad Z' \rightarrow D''$

Определение состава первой большой группы так, чтобы количество технологического оборудования на участке изготовления этой группы лежало в пределах $C_{\min}, C_{\max}$, а его загруженность была максимальной.

$$g = (d_1, \dots, d_l), \text{ так, что } C_n = \left\lceil \sum_{i=1}^l t_{u-\kappa}(d_i) \right\rceil, \quad C_n = \overline{C_{\min}, C_{\max}}$$

$$G' = G + g; \quad G = G'$$

Исключение рассмотренных на предыдущем этапе групп из общего списка.

$$D''' = D'' - g; \quad D'' = D'''$$

Пересчёт меры близости делением на значение меры для первой по списку оставшейся детали, принятие этой детали в качестве базовой.

$$\forall z \in Z', \forall i = \overline{1, n} : w = z_i / z_0, z_i = w$$

Возврат до исчерпания списка групп деталей.

1. Выбор наилучшего варианта объединения групп.
2. Разработка унифицированных технологических процессов.

К недостаткам данного подхода относятся:

- низкая эффективность системы кодирования вследствие её высокой субъективности;
- низкая адекватность расчётов меры близости на основе кодов;
- неверный подход к пересчёту меры близости после выделения первой и последующих крупных групп, поскольку для оставшихся в списке групп мера должна пересчитываться заново, на основе значений их признаков (характеристик);
- отсутствие обратной связи между окончательными унифицированными технологическими процессами и составами участков.

Методика синтеза технологических систем производства, на основе классификации деталей с использованием нейронных сетей.

В качестве моделей методика использует представление пространств решений в виде нейронных сетей и аналитические зависимости для интерпретации входящих и выходящих данных. Алгоритм её применения следующий:

1. Расчёт размеров сети Розенблатта [5] (количества узлов) в зависимости от количества признаков классификации X и количества групп деталей l . Количество групп и диапазоны характеристик деталей, определяющих состав групп, задаются на основании существующего производства аналогичного проектируемому.

2. Обучение нейронной сети [5] на основе сложившихся групп деталей на аналогичном предприятии. Т.е. представление функции Y в виде состояния сети таким образом, что:

$$G_{\text{аналог}} = Y(D_{\text{аналог}}),$$

$D_{\text{аналог}}$ и $G_{\text{аналог}}$ – множество деталей и групп деталей, соответственно, использованных для обучения.

3. Для каждой детали:

3.1. Подача значений признаков (характеристик) i -ой детали на входы нейронной сети.

$$\forall j = \overline{1, k} : In_j = x_j(d_i),$$

где k – количество признаков и входов нейронной сети; In_j – значение на j -ом входе сети Розенблатта; $x_j(d_i)$ – значение j -ого признака i -ой детали.

3.2. Получение результатов с выходов нейронной сети в виде вероятностей отношения детали к той или иной группе. Принятие решения – к какой группе отнести деталь.

$$\forall a = \overline{1, l} : p_a(d_i) = Out_a,$$

где $p_a(d_i)$ – вероятность отношения i -ой детали к a -ой группе; Out_a – значение на a -ом выходе сети Розенблатта.

$$\forall a = \overline{1, l} : b = \max(p_a(d_i)),$$

где b – номер группы, к которой отнесена деталь.

При необходимости – дополнительное обучение нейронной сети (рис. 2).

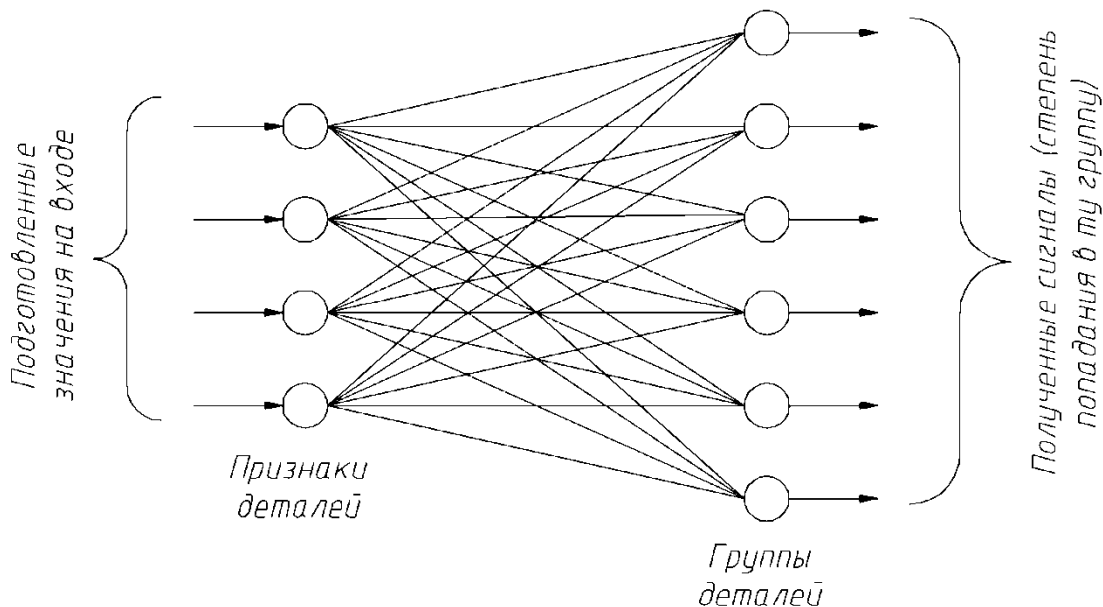


Рис. 2. Пример нейронной сети классификации деталей, ее обучение

4. Для каждой полученной группы деталей:

4.1. Формирование нейронной сети Хопфилда (относящейся к типу сетей с обратными связями) с двумя типами узлов. Узлы первого типа соответствуют вариантам технологических операций R^* , при помощи которых можно реализовать технологические процессы изготовления деталей группы. Узлы второго типа соответствуют моделям технологического оборудования C^* , на которых эта реализация возможна.

4.2. Представление целевой функции в виде функции Ляпунова [5], уменьшающейся в ходе работы сети (подобный подход позволяет исключить этап её обучения). Функция имеет вид:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{ij(i \neq j)} W_{ij} \cdot Out_i \cdot Out_j - \sum_i In_i \cdot Out_i + \sum_i \tau_i \cdot Out_i,$$

где W_{ij} – весовой коэффициент связи между i -ым и j -ым нейронами; In_i и Out_i – соответственно входной и выходной сигналы i -го нейрона; τ_i – порог i -го нейрона; $W_{ij} = 0$ и $W_{ij} = W_{ji} \forall i, j$.

4.3. Расчёт весов и порогов сети, определение необходимых значений входных параметров.

4.4. После запуска расчётов и достижения сетью устойчивого состояния (завершение процесса оптимизации) – считывание состояния нейронов и их интерпретация в качестве решения, содержащего перечень применяемых технологических операций и моделей используемого технологического оборудования сети.

4.5. Формирование унифицированного технологического процесса группы и расчёт количества технологического оборудования по моделям с использованием полученного решения.

4.6. Переход к следующей группе деталей.

К недостаткам данного подхода относятся:

- обучение на примерах технологических процессов действующих производств с большой вероятностью обуславливает низкое качество группирования, особенно в случае проектирования нового предприятия со структурой выпускаемой продукции, отличающейся от эталонной;
- обучение на существующих примерах ограничивает качество группирования уровнем примеров;
- группирование производится без учёта загруженности оборудования;
- большое время расчёта для большеразмерных задач.

Кроме того, при развитии рассмотренных методик была затронута ещё одна задача – оптимизация размещения оборудования, в упрощённом виде представляемая квадратичной задачей о назначениях. Суть этой задачи в необходимости размещения n станков на n площадках с критерием минимума суммы длин путей, совершаемых заготовками в пространстве цеха.

Вследствие отсутствия до конца 80-х методов оптимизации, позволяющих решить поставленную задачу в общем случае, её решение производилось для небольших ($8 \div 10$ станков) участков точными методами либо прямым перебором. К тому же этот вопрос чаще рассматривался в рамках оптимизации ГПЛ на основе групповой технологии [7], а не как часть проанализированных методик. При этом обратная связь получаемых результатов с предыдущими задачами: группирования деталей, определения состава оборудования по участкам – не учитывалась.

В третью методику, самую современную из рассмотренных, включён этап решения задачи размещения оборудования [6]. Но только в рамках квадратичной задачи о назначениях и без обратной связи по отношению к ранее решаемым задачам, что позволяет рассматривать этот этап как полностью самостоятельный. Его основой является метод оптимизации с использованием нейронных сетей, аналогичных применяемым для задачи выбора перечня применяемых технологических операций и моделей используемого технологического оборудования сети.

Таким образом, все три рассмотренных ранее методических подхода обладают одним существенным недостатком: при проектировании с их использованием не учитываются взаимосвязи между пространственной и временной структурой технологической системы (влияние плана расположения оборудования на группирование деталей). Кроме того, такие методики сложны в формализации и требуют соучастия человека в процессе проектирования (зависимость от опыта человека).

Все три рассмотренных подхода относятся к детали-ориентированным, т.е. построение технологической системы начинается с анализа конструктивно-технологической общности деталей. В начале 80-х был предложен подход ориентированный на разделение в первую очередь технологического оборудования на участки, а затем – группирование деталей. Подход получил общее название: кластеризация станков с использованием меры близости. Данная методика опирается на табличное представление данных о структуре участка и использует ряд математических зависимостей в ходе оптимизации.

К недостаткам данного подхода относятся:

- отсутствует обратная связь между разработкой унифицированных технологических процессов, составом и загруженностью технологического оборудования;
- группирование производится без учёта загруженности оборудования и характеристик заготовок;
- решение задачи размещения оборудования и учёт его влияния на получаемые решения не выполняется в рамках данного подхода.

Кроме того, вне рамок рассмотренных подходов были разработаны методики решения задачи группирования деталей и определения состава оборудования на участках посредством представления проектируемых объектов в виде графов, аналитических зависимостей и матриц. Оптимизация структуры технологической системы производства в них производилась при помощи математического программирования. Вследствие большой вычислительной сложности задачи при её решении методами математического программирования эти методики не получили практического развития и не были положены в основу методик проектирования машиностроительного производства.

Выводы:

1. В связи с интенсивным развитием рынка машиностроительной продукции растёт доля производств серийного типа, что свидетельствует об актуальности проблемы повышения их эффективности.
2. Существующие методики проектирования цехов серийного производства базируются, в основном, на классификации деталей и анализе станкоемкости по видам оборудования (работ), вследствие чего недостаточно учитывают технологические взаимосвязи в процессе изготовления и сложно формализуемы для оптимизации проектных решений.
3. Проектной предпосылкой повышения эффективности механообрабатывающего производства должна служить поддетальная специализация участков и цехов, обеспечивающая наилучшие условия для использования групповой или модульной технологии.
4. Поддетальная специализация участков в серийном производстве может быть обеспечена формированием технологически ориентированных структур оборудования в пространстве цеха.
5. Отсутствует методика структуризации и проектирования цехов серийного производства, основанная на формировании технологически ориентированных структур оборудования в пространстве цеха.
6. Отсутствует комплексная модель технологической системы производства и методика на её основе, позволяющая получать окончательный план расположения технологического оборудования на основе исходных технологических процессов изготовления деталей (изделий).

Анализ метода функционального и пространственного структурирования технологической системы производства на основе анализа взаимосвязей оборудования.

Рассмотрим комплексную модель и методику синтеза оптимальных компоновочно-планировочных решений цехов с учетом влияния основных факторов: мощности грузопотока (кратчайший путь перемещения заготовок и полуфабрикатов), рациональное использование площади участка, а также последовательности маршрута обработки.

1) Предварительно необходимо задаться исходными, которые могут характеризовать взаимосвязь оборудования:

- чертежи рассматриваемых деталей с габаритами и массой;
- маршрутные технологические процессы (ТП), несколько вариантов для каждой рассматриваемой детали;
- типоразмеры станков для каждой операции;
- перечень существующего оборудования;
- формы и габариты участка с расположением разного рода конструкций;
- точки подачи заготовок и выдачи готовых деталей.

Далее из всего ряда технологических процессов, для каждой детали, необходимо выбрать оптимальный ТП – с использованием наименьшего количества оборудования, также необходимо помнить про обеспечение загруженности станков.

2) Необходимо сформировать таблицу (матрицу) «станок-деталь», содержащую информацию, выбранную ранее (табл. 1).

Табл. 1. Пример матрицы «деталь-станок»

Деталь Станок	1	2	3	4	5
1	10	0	0	15	0
2	0	5	2	0	0
3	10	0	0	15	0
4	0	5	2	0	100

Все технологическое оборудование размещается в линию (рис. 3). Далее необходимо рассчитать критерий минимальной мощности грузопотока:

$$M_{yc\Sigma} = \sum_{i=1}^N (m_i \cdot l_i) \rightarrow \min, \text{ где } m_i - \text{масса } i\text{-ой детали};$$

l_i – путь, который проходит деталь i -го типа;

N – количество наименований деталей.

При оптимизации по приведенной схеме происходит «стягивание» оборудования, т.е. выделяются группы деталей и «кластеры» станков (табл. 2).

Табл. 2. Пример матрицы после оптимизации

Деталь Станок	1	2	3	4	5
1	10	15	0	0	0
3	10	15	0	0	0
2	0	0	5	2	0
4	0	0	5	2	100

Оптимизация линейной последовательности размещения оборудования ведется без учета последовательности маршрута обработки детали при помощи генетического алгоритма.

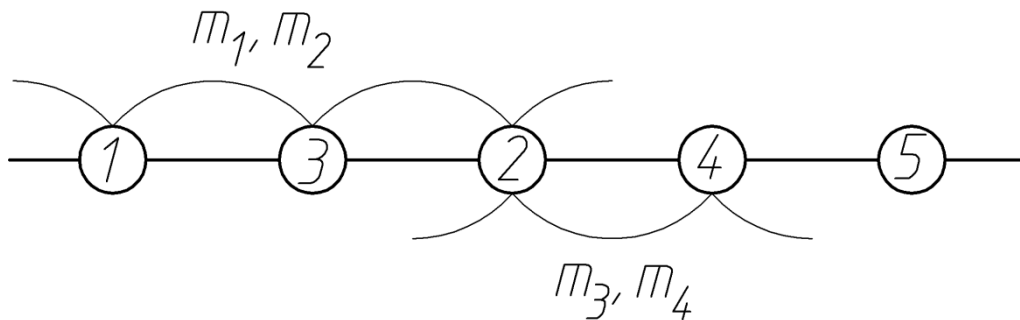


Рис. 3. Пример размещения оборудования в линию после оптимизации

На данном этапе можно выделить определенные технологические процессы изготовления деталей, не позволяющих использовать более производительное оборудование, для доработки.

3) Рассмотрим расчет оптимального количества рядов оборудования и количества станков в ряде. Необходимо учитывать тип размещения оборудования (рис. 4):

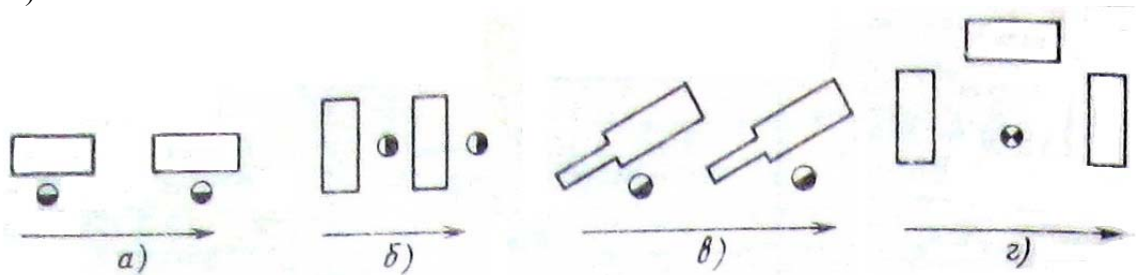


Рис. 4. Варианты размещения станков относительно транспортных средств:
а – продольное; б – поперечное; в – угловое; г – кольцевое.

В случае размещения станков вдоль проезда

Определяем количество рядов на ширине участка: $n_B = \left\lfloor \frac{B_{уч}}{b_{ум}^{cp}} \right\rfloor$, где

$B_{уч}$ – ширина участка;

$b_{ум}^{cp}$ – среднее значение ширины инверсного темплета.

Далее определяем ширину инверсного темплета: $b'_{ум} = \frac{B_{уч}}{n_B}$, чтобы полностью

заполнить участок. Так как $b'_{ум}$ изменилась, то и длина инверсного темплета изменится: $l'_{ум} = \frac{b_{ум}^{cp} \cdot l_{ум}^{cp}}{b'_{ум}}$. Далее можем определить оптимальное число оборудования

в ряде: $n_L = \left\lfloor \frac{L_{уч}}{l'_{ум}} \right\rfloor$.

В случае размещения станков поперек проезду расчет проводится аналогично:
 $n_L \rightarrow l_{um}^{cp} \rightarrow l'_{um} \rightarrow b'_{um} \rightarrow n_B$

В случае размещения станков под углом к проезду при расчете необходимо учесть угол поворота оборудования (α): $n'_L = \frac{\cos \alpha}{b_{um}^{cp}} \cdot (B_{уч} - l_{um}^{cp} \cdot \sin \alpha - b_{um}^{cp} \cdot \cos \alpha)$

$$n_L = \left\lfloor n'_L \right\rfloor - \text{если } \alpha > 45^\circ$$

$$n_L = \left\lceil n'_L \right\rceil - \text{если } \alpha \leq 45^\circ$$

$$n_B = \left\lceil \frac{L_{уч}}{n_L} \right\rceil$$

4) Проводится произвольная укладка полученной ранее линейной последовательности на треугольной сетке. Далее оптимизируется расположение оборудования, для чего используется критерий максимума локальной мощности грузопотока: $M_{лок \Sigma} \rightarrow \max$. Локальная мощность грузопотоков определяется по правилу: если для каждой детали станки располагаются рядом, то к значению $M_{лок \Sigma}$ добавляется соответствующее значение грузопотока, остальные связи не учитываются. В итоге получаем решение с минимальной потребностью в межоперационном транспорте. На данном уровне оптимизации последовательность обработки деталей также не учитывается.

5) На данном этапе проводится учет последовательности обработки детали, а также расположение зон подачи заготовок и выдачи готовых деталей. Получаем решение на прямоугольной сетке путем деформации треугольной (рис. 5). Учет последовательности обработки детали проводится при помощи построения матриц «деталь-операция» (табл. 3).

Табл. 3. Пример матрицы «деталь-операция»

Операция Деталь	1	2	3	4	5
1	10	7	15	23	25
3	2	6	13	20	16
2	5	8	18	14	24
4	9	4	19	21	17
5	1	3	12	22	11

В ячейках указываются номера станков, т.е. фактически задается маршрут движения деталей по станкам.

Оптимизация решений проводится с учетом зон подачи заготовок и выдачи готовых деталей. Критерием оптимизации является минимум мощности грузопотока:

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{W_i} (\Delta X_{ij} + \Delta Y_{ij}) \cdot m_i \rightarrow \min, \text{ где}$$

N – количество i -ых деталей;

W_i – количество операций для i -ой детали;

ΔX_{ij} – длина пути вдоль оси X i -ой детали от станка, на котором выполнялась

j -ая операция до станка с операцией $j+1$;

ΔY_{ij} – длина пути вдоль оси Y i -ой детали от станка, на котором выполнялась

j -ая операция до станка с операцией $j+1$;

При $j=0$ рассматривается отрезок пути от точки подачи заготовок, а при $j=W_i$ учитывается отрезок до точки выдачи готовых деталей.

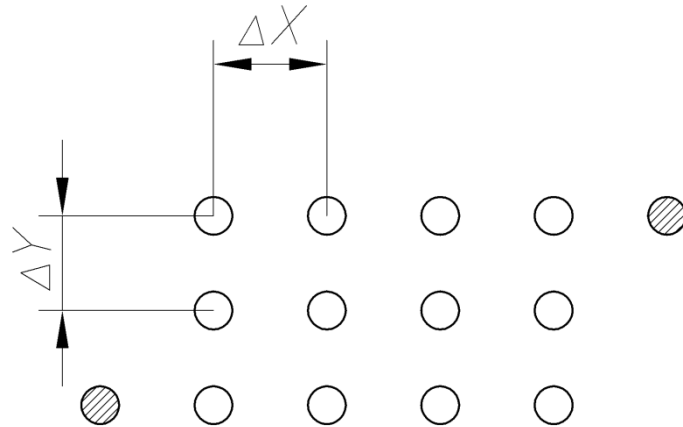


Рис. 5. Пример размещения оборудования в прямоугольной сетке

6) Проводится определение конкретных моделей оборудования по заданному типу, диапазону обрабатываемых размеров и диапазону точности. Для выбранного оборудования рассматриваются инверсные темплеты и формируется план размещения оборудования. Для каждого инверсного темплата определяется характерная точка (центр, место загрузки, рабочая зона), которая определяет размер окружности для разработки модели цифрового производства (рис. 6).

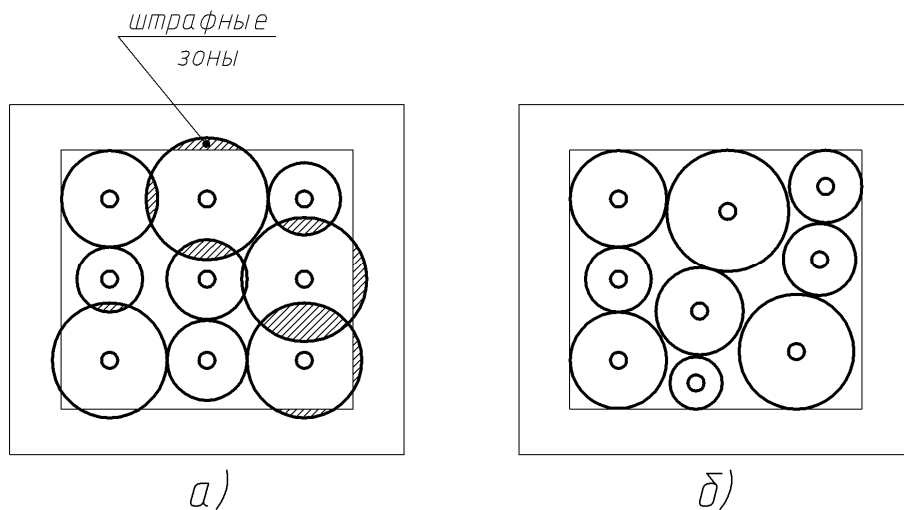


Рис. 6. Модель цифрового пространства (а) и ее оптимизация (б)

Критерием оптимизации здесь служит минимизация штрафных площадей (перекрытия окружностей):

$$\sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{штр.i}}{S_{полн.i}} \right) \rightarrow \min \quad \text{— не учитывает площадь станка;}$$

$$\sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{cm.i} \cdot S_{штр.i}}{S_{окр.i}^2} \right) \rightarrow \min \quad - \text{площадь станка учитывается.}$$

Далее происходит оптимизация по углу поворота с критерием минимума грузопотока, т.е. с учетом мест загрузки заготовок и выдачи готовых деталей на рабочих местах, с использованием их инверсных темплетов.

7) Окончательно проводится доводка технологической планировки. Для этого определяются размеры партий, размеры накопителей, необходимое количество грузоподъемных и транспортных средств, загруженности станков и производительность системы в целом.

Выводы.

1. Рассмотренная комплексная модель и методика синтеза оптимальных компоновочно-планировочных решений цехов позволяет одновременно решать задачи выявления технологически однородных групп изделий и размещения оборудования для их изготовления в пространстве цеха с использованием вычислительной техники.

2. Использование минимума мощности грузопотока в качестве критерия оптимизации планировочных решений и применение генетических алгоритмов можно обеспечить в пространстве цеха концентрацию оборудования для производства технологически однородных изделий.

3. Рассмотрен новый метод анализа технологических взаимосвязей оборудования для формирования состава участков и закрепления за ними изготавливаемых групп деталей, основанный на оптимизации линейной последовательности размещения станков по минимуму условной мощности грузопотока.

4. Для моделирования размещения оборудования при решении задачи синтеза планировочных решений цеха целесообразно использовать сначала треугольную решетку, без учета последовательности выполнения операций, а затем – прямоугольную, с учетом данной последовательности.

5. Использование предложенной методики оптимизации компоновочно-планировочных решений при создании цехов с поддетальной специализацией участков обеспечивает возможность более широкого применения групповой обработки и значительное сокращение длительности производственного цикла изготовления изделий.

6. Использование программного обеспечения, основанного на рассмотренной модели и методике, позволит сократить трудоемкость технологического проектирования, а также качественно повысить уровень принимаемых решений.

Литература

1. Лобуз В.В. Формирование технологически ориентированных структур оборудования в пространстве цеха: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. // В.В. Лобуз – 2008, 170 с.

2. Мельников Г.Н. Проектирование механосборочных цехов: **Учебник** для студентов машиностроительных специальностей вузов // Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко; ред. А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

3. Митрофанов С.П. Научная организация машиностроительного производства // С.П. Митрофанов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Л.: Машиностроение, 1976. – 712 с.

4. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении // Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.

5. *Иванова М.В.* Нейросетевой метод оптимизации планировок технологического оборудования в машиностроении: дисс. канд. техн. наук: 05.02.08: защищена 13.12.00./ Иванова Марина Валерьевна. – Уфа, 2000. – 240 с. – Библиогр.: - С.232–238.